



TUGAS AKHIR - SF 141501

PENGARUH PEMANASAN SERBUK AI PRA-KOMPAKSI TERHADAP SIFAT FISIS KOMPOSIT AI/SiC HASIL METODE METALURGI SERBUK

IMROATUL MUFIDAH
NRP 1110 100 703

Dosen Pembimbing
Dr. Mashuri, S.Si., M.Si.

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - SF 141501

THE EFFECT OF HEAT TREATMENT FOR Al POWDER PRE-COMPACTION TO PHYSICAL PROPERTIES OF Al/SiC COMPOSITES BY POWDER METALLURGY METHOD

IMROATUL MUFIDAH
NRP 1110 100 703

Advisor
Dr. Mashuri, S.Si., M.Si.

Department of Physics
Science Faculty
Tenth Nopember Technology of Institute
Surabaya 2015

**PENGARUH PEMANASAN SERBUK Al PRA-
KOMPAKSI TERHADAP SIFAT FISIS KOMPOSIT
Al/SiC HASIL METODE METALURGI SERBUK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Fisika Material
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
IMROATUL MUFIDAH
NRP 1110100703

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Mashuri, S.Si., M.Si.
NIP. 19691216 199402.1.001



Surabaya, Januari 2015



PENGARUH PEMANASAN SERBUK Al PRA-KOMPAKSI TERHADAP SIFAT FISIS KOMPOSIT Al/SiC HASIL METODE METALURGI SERBUK

Nama : Imroatul Mufidah
NRP : 1110100703
Jurusan : Fisika, FMIPA-ITS
Pembimbing : Dr. Mashuri, S.Si., M.Si.

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pemanasan serbuk Al pra-kompaksi terhadap sifat fisis komposit Al/SiC hasil metode metalurgi serbuk. Penelitian dilakukan dengan bahan dasar serbuk aluminium, serbuk silikon karbida dan serbuk zinc stearat. Pembuatan komposit Al/SiC dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur pemanasan matrik yaitu 40°C, 60°C dan 80°C, serta temperatur sinter yaitu 400°C, 500°C, dan 600°C. Identifikasi sifat fisis yang dilakukan yaitu densitas, porositas dan kuat tekan sedangkan analisa fasa dan mikrostruktur menggunakan pengujian Difraktometer Sinar-X (XRD) dan Scanning Electron Microscopy (SEM). Analisis data XRD dilakukan dengan menggunakan software Match!. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanasan matrik Al prakompaksi memberikan pengaruh terhadap densitas dan porositas. Semakin tinggi temperatur pemanasan matrik Al, densitas komposit Al/SiC semakin tinggi dan porositas semakin kecil. Semakin tinggi densitas sampel maka kemampuan komposit Al/SiC dalam menahan beban atau gaya mekanis dari luar semakin besar. Dari analisis XRD menunjukkan bahwa terdapat fasa baru yang muncul selama proses pembuatan yaitu $Al_2O_3\text{-}\gamma$ dan terlihat bahwa partikel penguat SiC terdistribusi kurang merata terhadap matrik Al dilihat dari analisa mikrostruktur menggunakan SEM.

Kata kunci : Komposit, sintering, metalurgi serbuk.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

THE EFFECT OF HEAT TREATMENT FOR Al POWDER PRE-COMPACTION TO PHYSICAL PROPERTIES OF Al/SiC COMPOSITES BY POWDER METALLURGY METHOD

Name : Imroatul Mufidah
NRP : 1110100703
Department : Physics, FMIPA-ITS
Advisor : Dr. Mashuri, S.Si., M.Si.

Abstract

Have been carried out research to determine the effect of heat treatment for Al powder pre-compaction to physical properties Al/SiC composites by powder metallurgy method. The research have been done using the heating temperature matrix that is 40°C, 6°C and 8°C and sinter temperature of 400°C, 500°C and 600°C variation. The identification of physical properties that do is density, porosity and compressive strength while the phase and microstructure analysis using X-Ray diffractometer (XRD) and scanning microscope electron (SEM). The XRD data analysis performed by using the software Match!. Based on the result of this research, the heat treatment for Al pre-compaction giving effect to density and porosity. For the temperature increase for Al matrix, the density of Al/SiC increase too an the porosity is getting small. With increasing density, ability of Al/SiC composites in mechanical load or withstand the force from outside is greater. From XRD analysis showed that there is a new phase that emerged during the manufacturing process, namely Al₂O₃-gamma and seen that particles less evenly distributed SiC with matrices Al viewed from the analysis of SEM microstructure.

Kata kunci : Composite, sintering, powder metallurgy.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. atas rahmat, petunjuk dan hidayah-Nya serta segala nikmat dan kesehatan yang diberikan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir (TA) yang berjudul “Pengaruh Pemanasan Serbuk Al Pra-kompaksi Terhadap Sifat Fisis Komposit Al/SiC Hasil Metode Metalurgi Serbuk”.

Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S-1) jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITS Surabaya.

Penulis telah banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak hingga selesainya penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan rasa terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Kedua orang tua, yang tiada putus-putus mendoakan dan memberikan segala hal yang terbaik bagi penulis sejak kecil hingga saat ini.
2. Kakak dan adik tercinta, Ana Fadhilah dan Ahmad Tsalis Mubaroki atas doa, dukungan dan motivasinya.
3. Kementerian Agama atas dukungan moril dan materiil melalui Beasiswa Santri Berpretasi sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan Strata-1 (S1).
4. Bapak Dr. Mashuri, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberi pengarahan dan bimbingannya selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
5. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono selaku ketua Jurusan Fisika ITS.
6. Bapak Dr. M. Zainuri, M.Si. selaku dosen wali sekaligus dosen penguji atas kesabaran dalam memberikan nasihat, arahan, bimbingan dan dukungan kepada penulis baik pada kepentingan perkuliahan maupun penyusunan Tugas Akhir ini.

7. Bapak Prof. Suminar Pratapa, M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji atas semua masukan untuk kebaikan Tugas Akhir ini.
8. Dosen-dosen jurusan Fisika ITS, yang tanpa lelah mendidik dan memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
9. Teman-teman Quinsha Edelweiss, Apin, Etik, Hikmah, Zid, atas semangat, doa dan dukungannya kepada penulis.
10. Teman-teman CSS MoRA ITS 2010, orang-orang pertama yang penulis kenal pertama kali menginjakkan kaki di kampus perjuangan.
11. Teman-teman Fisika Cosmic 2010, teman-teman seperjuangan yang telah melewati suka duka bersama selama menempuh pendidikan di jurusan Fisika ITS.
12. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan ini masih banyak terdapat kesalahan. Mohon kritik dan saran yang membangun dari pembaca guna menyempurnakan laporan Tugas Akhir ini. Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2015

Imroatul Mufidah

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Komposit	5
2.2 Komposit Matrik Logam	6
2.3 Aluminium	10

2.4 Silikon Karbida (SiC).....	11
2.5 Metalurgi Serbuk.....	12
2.5.1 Preparasi Material	13
2.5.2 Pencampuran (mixing)	14
2.5.3 Penekanan (Kompaksi)	15
2.5.4 Pemanasan (Sintering)	15
2.6 Karakterisasi Material Komposit.....	16
2.6.1 Sifat Fisis.....	17
2.6.2 Analisa Mikrostruktur	18
2.6.3 Analisa Struktur Kristal.....	19
BAB III METODOLOGI.....	21
3.1 Bahan dan Peralatan	21
3.1.1 Bahan yang Digunakan	21
3.1.2 Peralatan yang Digunakan.....	21
3.2 Cara Kerja	22
3.2.1 Penentuan Fraksi Volume	22
3.2.2 Pemanasan Matrik Al.....	23
3.2.3 Pencampuran (mixing)	24
3.2.4 Pencetakan Sampel.....	24
3.2.5 Sintering	24
3.3 Pengujian Sampel.....	25
3.3.1 Densitas	25
3.3.2 Porositas	25
3.3.3 Uji Kuat Tekan	25
3.3.4 Uji SEM	25
3.3.5 Uji XRD	26
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Analisa Proses Kompaksi.....	29
4.2 Fenomena Sintering.....	31
4.3 Hasil Pengujian Difraksi Sinar-X.....	33
4.4 Pengaruh Temperatur Terhadap Densitas	35
4.5 Pengaruh Temperatur Terhadap Porositas.....	38

4.6 Analisis Kuat Tekan	41
4.7 Analisa SEM (Scanning Electron Microscope)	43
BAB V KESIMPULAN	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	53
BIOGRAFI PENULIS	69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi Komposit Berdasarkan Penguat.....	5
Gambar 2.2 Grafik Hubungan Temperatur Terhadap Densitas....	8
Gambar 2.3 Grafik Hubungan Temperatur Terhadap Porositas...	8
Gambar 2.4 Mikrostruktur Komposit Al/SiC.....	9
Gambar 2.5 Pola Difraksi Komposit Al/SiC	9
Gambar 2.6 Skema Prinsip Dasar SEM.....	19
Gambar 2.7 Difraksi Bidang Atom	20
Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD pada Berbagai Temperatur dengan Pemanasan Matrik Prakompaksi Sebesar 40°C	33
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Temperatur Sinter Terhadap Densitas	36
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Temperatur Pemanasan Matrik Terhadap Densitas	37
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Temperatur Sinter Terhadap Porositas	39
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Temperatur Pemanasan Matrik Terhadap Porositas	39
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Temperatur Sinter Terhadap Nilai Kuat Tekan	41

Gambar 4.7 Grafik Hubungan Densitas Terhadap Nilai Kuat Tekan	42
Gambar 4.8 Foto SEM dari Material Komposit Al/SiC	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisis Komposit Al/SiC	7
Tabel 2.2 Sifat Fisis Logam Aluminium	11
Tabel 2.3 Sifat Fisis Silikon Karbida (SiC)	11
Tabel 4.1 Nilai d dan Senyawa yang Terbentuk.....	34

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Data Pengukuran Densitas	53
Lampiran II Data Pengukuran Porositas.....	55
Lampiran III Data Pengukuran Kuat Tekan	57
Lampiran IV Hasil XRD Komposit Al/SiC.....	59
Lampiran V Bahan dan Peralatan Penelitian.....	63

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, kebutuhan manusia akan barang-barang yang berkualitas khususnya bidang otomotif semakin meningkat. Biasanya material yang digunakan untuk membuat komponen otomotif terbuat dari material *casting* (coran) berbasis besi (*ferro*) seperti komposit logam, namun belum banyak digunakan karena hambatan teknik fabrikasi atau kendala teknis lainnya sehingga membutuhkan dana yang banyak dalam produksinya. Ketika bahan tersebut diganti dengan material komposit seperti bahan aluminium maka dapat diperoleh keuntungan seperti reduksi berat komponen, anti korosi, tahan gesek, konduktivitas panas yang rendah serta keunggulan mekanis dan fisis lainnya.

Saat ini metode yang berkembang dalam pembuatan komposit adalah metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) yang merupakan teknik fabrikasi yang sangat luas penerapannya dalam berbagai inovasi teknologi material dalam dunia industri. Keunggulan penerapan dari teknologi berbasis serbuk antara lain dapat menggabungkan berbagai sifat material yang berbeda karakteristik, sehingga menjadi sifat yang baru sesuai yang direncanakan. Komposit matrik logam dengan matrik aluminium dan penguat SiC berbasis serbuk atau juga dikenal dengan komposit isotropik Al/SiC merupakan material yang memiliki aplikasi serta pengembangan yang luas. Komposit ini mempunyai keunggulan terutama dalam kekuatan dan ketahanan terhadap aus.

Penelitian yang dilakukan adalah untuk menguasai pembuatan komposit paduan dari Al dengan keramik SiC melalui teknik metalurgi serbuk. Penguasaan teknologi pembuatan material komposit Al/SiC dapat mengatasi kebutuhan manusia terhadap barang-barang yang berkualitas dengan cara merekayasa dalam pembuatannya.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh pemanasan matrik sebelum proses kompaksi terhadap sifat fisis dari komposit Al/SiC hasil metode metalurgi serbuk.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, permasalahan dibatasi pada pembuatan komposit Al/SiC dengan metode metalurgi serbuk serta pengaruh temperatur pemanasan matrik pra-kompaksi dan temperatur sinter terhadap sifat fisis dari komposit.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanasan matrik Al sebelum proses kompaksi terhadap sifat fisis dari komposit Al/SiC menggunakan metode metalurgi serbuk.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari Tugas Akhir ini antara lain: sebagai pengamalan dari materi kuliah, sebagai tambahan pengetahuan pemahaman tentang bagaimana proses pembuatan komposit Al/SiC serta pengaruh pemanasan matrik pra-kompaksi dan temperatur sinter terhadap sifat fisis dari komposit Al/SiC, serta sebagai tambahan kepustakaan untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas Akhir (TA) ini terdiri dari abstrak yang berisi gambaran umum dari penelitian ini. Bab I pendahuluan yang memuat latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bab II tinjauan pustaka berisi tentang dasar-dasar teori yang digunakan

sebagai acuan dari penelitian, diantaranya tentang komposit, metode metalurgi serbuk serta beberapa pengujian sifat fisis, XRD dan SEM. Bab III metodologi penelitian yang berisi tahapan-tahapan yang dikerjakan untuk mencapai tujuan dari Tugas Akhir ini serta diagram alir penelitian. Bab IV hasil penelitian dan pembahasannya. Dan Bab V kesimpulan dan saran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

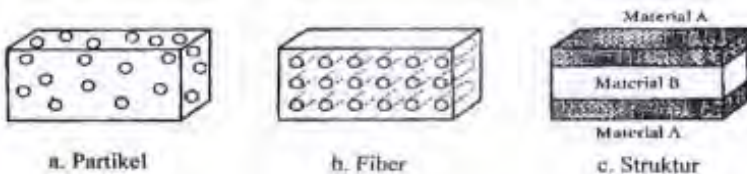
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Material komposit merupakan kombinasi dua atau lebih material yang berbeda, dengan syarat adanya ikatan permukaan antara kedua material tersebut. Komposit tidak hanya digunakan untuk sifat struktural tapi dapat juga dimanfaatkan untuk berbagai sifat yang lainnya seperti listrik, panas, atau material-material yang memperhatikan aspek lingkungan. Komposit pada umumnya diklasifikasikan menjadi 2 bagian yang berbeda dimana fasa kontinu disebut matrik, dan fasa diskontinu disebut sebagai penguat (Zainuri, 2008).

Berdasarkan jenis penguatnya, material komposit antara lain: *particulate composite* (penguatnya berbentuk partikel), *fibre composite* (penguatnya berbentuk serat), *structural composite* (cara penggabungan material komposit) (Sakti, 2008).

Ilustrasi komposit berdasarkan penguat yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Ilustrasi Komposit Berdasarkan Penguat yang Digunakan (Zainuri, 2003).

Komposit dapat dibagi menjadi tiga kategori, antara lain:

1. Komposit Matrik Polimer (KMP); Bahan ini merupakan bahan yang paling sering digunakan atau sering disebut Polimer Berpenguat Serat (*Fibre Reinforced Polymer of Plastic*). Komposit ini menggunakan suatu polimer berbasis resin sebagai matriknya, dan jenis serat tertentu sebagai penguat, misalnya serat kaca dan karbon.

2. Komposit Matrik Keramik (KMK); Material komposit ini biasanya digunakan pada lingkungan bertemperatur sangat tinggi, bahan ini menggunakan keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (*whiskers*) yang terbuat dari silikon karbida atau boron nitride.
3. Komposit Matrik Logam (KML); Berkembang pada industri otomotif, bahan ini pada umumnya menggunakan suatu logam seperti Aluminium (Al) sebagai matrik dan Silikon Karbida (SiC) sebagai penguatnya (Zamheri,2011).

2.2 Komposit Matrik Logam

Dalam proses fabrikasi komposit matrik logam, matrik yang paling banyak digunakan adalah logam aluminium karena logam ini mempunyai banyak kelebihan antara lain memiliki densitas yang rendah, tahan terhadap korosi, memiliki sifat panas, dan sifat listrik yang baik. Logam aluminium yang biasa digunakan sebagai matrik adalah paduan Al-Si, Al-Cu, dan sebagainya. Komposit matrik aluminium biasanya menggunakan penguat Al_2O_3 , SiC, C, dan yang lainnya.

Pemilihan partikel penguat SiC sebagai bahan pengisi (*filler*) banyak dikembangkan karena material SiC memiliki sifat mekanik dan fisis yang baik seperti memiliki nilai modulus elastisitas yang tinggi, kekerasan, ketahan erosi, dan memiliki nilai koefisien ekspansi termal yang rendah. Jadi dengan menggunakan material aluminium sebagai matrik dan partikel SiC sebagai bahan penguat maka akan didapatkan suatu material komposit yang memiliki sifat antara getas dan liat, memiliki sifat fisis, mekanik, dan sifat termal yang baik, serta menghasilkan material yang memiliki bobot rendah dan memiliki umur pemakaian yang lebih lama karena memiliki ketahanan korosi yang baik (Ramadhonal, 2010). Beberapa sifat fisis dan termal komposit matrik Aluminium berpenguat keramik SiC dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat Fisis Komposit Al/SiC

Sifat Fisis	Nilai
Densitas	2.6 - 3.1 gr/cm ³
Kuat tekan	300 - 450 MPa
Modulus elastisitas	180 - 200 GPa
Ketahanan lelah	10 - 25 MPa-m ⁻²
Koefisien ekspansi termal	7 - 20 x 10 ⁻⁶ /°C
Konduktivitas panas	220 W/m-K

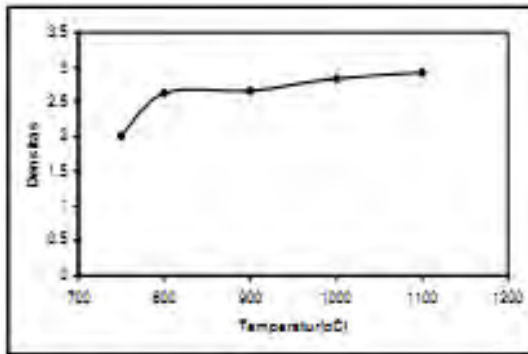
(Cantor, 2004)

Dibandingkan dengan logam monolitik, komposit matrik aluminium berpenguat SiC memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

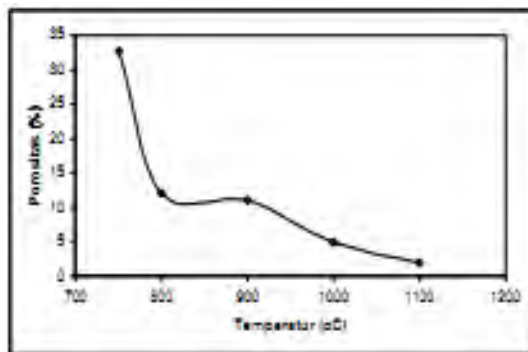
- Memiliki kekuatan yang lebih tinggi
- Memiliki sifat kekakuan yang lebih tinggi
- Memiliki ketahanan lelah yang baik
- Lebih tahan terhadap suhu yang relatif tinggi
- Memiliki koefisien ekspansi termal dan konduktivitas termal yang baik
- Umur pemakaian lebih lama karena tahan terhadap korosi.

Komposit matrik logam dapat di aplikasikan pada berbagai komponen mesin seperti *velg*, *housing disc brake*, sudu-sudu gas turbin (*turbin blade*), mesin roket, piston, penukar panas (*heat exchanger*), struktur pesawat terbang, kemasan elektronik, dan sebagainya (Sakti, 2008).

Dari penelitian yang dilakukan oleh Zulfia (2006), diperoleh bahwa densitas dan porositas mempunyai hubungan berbanding terbalik. Semakin meningkat suhu maka densitas komposit Al/SiC juga terus meningkat. Sebaliknya porositas terus menurun seiring naiknya suhu.



Gambar 2.2 Grafik Hubungan Temperatur Terhadap Densitas (Zulfia, 2006)



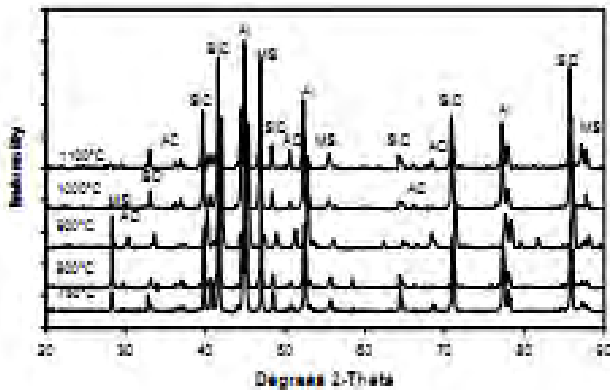
Gambar 2.3 Grafik Hubungan Temperatur Terhadap Porositas (Zulfia, 2006)

Pengamatan dengan alat uji SEM, mikrostruktur dari komposit AlSiC memperlihatkan persebaran SiC yang random didalam matrik Al.



Gambar 2.4 Mikrostruktur Komposit Al/SiC pada Suhu 800°C Selama 10 Jam (Zulfia, 2006)

Fasa yang terbentuk selama proses sintesis antara lain Mg_2Si , Al_3C_4 , dan Al_2O_3 .



Gambar 2.5 Pola Difraksi Komposit Al/SiC (Zulfia, 2006)

2.3 Aluminium

Aluminium merupakan material mineral yang melimpah dipermukaan bumi, yaitu sekitar 7,6%. Aluminium merupakan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Namun aluminium tetap menjadi logam yang berharga mahal karena pengolahannya yang sukar (Romadhonal, 2010). Aluminium mempunyai sifat mekanik, ketahanan korosi dan hantaran listrik yang baik. Logam ini dipergunakan secara luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi dapat dipakai untuk material pesawat terbang, otomotif, kapal laut, konstruksi dan lain-lainnya (Sakti, 2008).

Logam aluminium tergolong logam yang ringan dan memiliki massa jenis $2,77 \text{ gr/cm}^3$. Struktur kristal aluminium murni adalah FCC (*Face Centered Cubic*), dengan jejari atom 0,134 nm dan mempunyai *yield strength* sebesar 60×10^3 psi. Di udara terbuka, aluminium bereaksi dengan oksigen membentuk lapisan tipis Al_2O_3 yang melindungi dari korosi (Zainuri, 2003). Sifat fisis yang dimiliki aluminium antara lain:

- a. Ringan, tahan korosi dan tidak beracun maka banyak digunakan untuk alat rumah tangga.
- b. Reflektif, dalam bentuk aluminium foil digunakan sebagai pembungkus makanan, obat atau rokok.
- c. Daya hantar listrik dua kali lebih besar dari Cu, maka Al digunakan sebagai kabel tiang listrik.
- d. Paduan Al dengan logam lainnya menghasilkan logam yang kuat seperti *duralium* (campuran Al, Cu, Mg) untuk pembuatan badan pesawat.
- e. Sebagai zat reduktor untuk oksida MnO_2 dan Cr_2O_3 . (Romadhonal, 2010)

Beberapa sifat fisis dari logam Aluminium dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat Fisis Logam Aluminium

Sifat fisis	Nilai
Densitas	2.77 gr/cm ³
Modulus elastisitas	73 GPa
Rasio poisson	0.33
Modulus geser	27 GPa
Titik leleh	502-638 °C
Kapasitas panas	0.882 J/gr- °C
Konduktivitas termal	193 W/m-K

(Cantor, 2004)

2.4 Silikon Karbida (SiC)

Silikon karbida (SiC) merupakan salah satu jenis dari keramik yang sering digunakan sebagai penguat pada pembuatan komposit. Silikon terdapat di bumi sekitar 28%. Silikon karbida memiliki kekerasan yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan sifat mekanis dari matrik pada saat pembuatan komposit. Aplikasi silikon karbida yang paling umum adalah untuk penghalus pada gerinda dan untuk amplas (*abrasive paper*). Sifat-sifat fisis dari SiC dapat dilihat pada tabel 2.3 (Zamheri, 2011).

Tabel 2.3 Sifat Fisis Silikon Karbida (SiC)

Sifat Fisis	Nilai
Densitas	2,9 gr/cm ³
Modulus elastisitas	410 GPa
Rasio poisson	0.14
Kuat tekan	4600 MPa
Kapasitas panas	0.67 J/gr-°C
Konduktivitas termal	77.5 W/m-K

(Cantor, 2004)

SiC memiliki kurang lebih 70 bentuk Kristal, dan yang paling terkenal adalah struktur Kristal heksagonal dengan komponen α -SiC dan mulai terbentuk pada suhu sekitar 2000 °C. Selain α -SiC juga ada struktur β -SiC, fasa ini terbentuk dibawah suhu 2000 °C (Sakti, 2008).

Sifat tahan korosi SiC ditunjukkan dengan ketahanan SiC terhadap abu batubara, slag asam, dan slag netral. Ketahanan panas SiC ditunjukkan dari suhu uraian yang mencapai 2200-2700°C. Pada suhu 1000°C terbentuk lapisan oksidasi berupa SiO₂. Dan kelemahan SiC adalah ketahanan oksidasi di udara hanya mampu mencapai 1700°C (Romadhonal, 2010).

2.5 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk adalah proses manufaktur yang dapat mencapai bentuk komponen akhir dengan mencampurkan serbuk secara bersamaan dan dikompaksi dalam cetakan, dan selanjutnya disinter di dalam *furnace* (tungku pemanas).

Langkah-langkah yang harus dilalui dalam metalurgi serbuk, antara lain:

1. Preparasi material
2. Pencampuran (*mixing*)
3. Penekanan (kompaksi)
4. Pemanasan (*sintering*)

Material komposit yang dihasilkan dari proses metalurgi serbuk adalah komposit isotropik, yaitu komposit yang mempunyai penguat (*filler*) dalam klasifikasi partikulet.

Keuntungan proses metalurgi serbuk, antara lain:

- a. Mampu melakukan kontrol kualitas dan kuantitas material
- b. Mempunyai presisi yang tinggi
- c. Selama pemrosesan menggunakan suhu yang rendah
- d. Kecepatan produk tinggi
- e. Sangat ekonomis karena tidak ada material yang terbuang selama pemrosesan

Namun metode metalurgi serbuk juga memiliki keterbatasan, antara lain:

- Biaya pembuatan yang mahal dan terkadang serbuk sulit penyimpanannya
- Dimensi yang sulit, karena selama penekanan serbuk logam tidak mampu mengalir ke ruang cetakan
- Sulit untuk mendapatkan kepadatan yang merata

2.5.1 Preparasi Material

Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan fraksi berat dan fraksi volume serbuk aluminium dan serbuk silikon karbida.

➤ Fraksi berat

$$w_c = w_m + w_f$$

$$W_m = \frac{w_m}{w_c}$$

$$W_f = \frac{w_f}{w_c}$$

$$W_m + W_f = 1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

w_c : berat komposit; w_f : berat filler; w_m : berat matrik; W_f : fraksi berat filler; dan W_m : fraksi berat matrik

➤ Fraksi volume

$$v_c = v_m + v_f$$

$$V_m = \frac{v_m}{v_c}$$

$$V_f = \frac{v_f}{v_c}$$

$$V_m + V_f = 1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

v_c : volume komposit; v_f : volume filler; v_m : volume matrik;

V_f : fraksi volum filler; dan V_m : fraksi volum matrik

➤ Kerapatan

$$\rho_c v_c = \rho_f V_f + \rho_m V_m$$

$$\rho_c = \rho_f \frac{v_f}{v_c} + \rho_m \frac{v_m}{v_c}$$

$$\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m V_m \quad \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

ρ_c : kerapatan komposit; ρ_f : kerapatan filler; dan ρ_m : kerapatan matrik

Bentuk dan ukuran partikel juga memegang peranan penting dalam menentukan kualitas ikatan komposit. Semakin kecil ukuran partikel yang berikatan maka kualitas ikatannya semakin baik, karena semakin luas kontak permukaan antar partikel. Ikatan antar partikel dalam material komposit salah satunya disebabkan karena adanya interlocking antar partikel yang dipengaruhi oleh bentuk partikel yang digunakan.

2.5.2 Pencampuran (*Mixing*)

Ada 2 macam pencampuran, yaitu:

- a. Pencampuran basah (*wet mixing*) yaitu proses pencampuran dimana serbuk matrik dan *filler* dicampur terlebih dahulu dengan pelarut polar apabila material (matrik dan *filler*) yang digunakan mudah mengalami oksidasi. Tujuan pemberian

pelarut polar adalah untuk mempermudah proses pencampuran material yang digunakan dan untuk melapisi permukaan material supaya tidak berhubungan dengan udara luar sehingga mencegah terjadinya oksidasi pada material yang digunakan.

- b. Pencampuran kering (*dry mixing*) yaitu proses pencampuran yang dilakukan tanpa menggunakan pelarut untuk membantu melarutkan dan dilakukan di udara luar apabila material yang digunakan tidak mudah mengalami oksidasi.

2.5.3 Penekanan (Kompaksi)

Proses kompaksi adalah suatu proses pembentukan logam dari serbuk logam dengan mekanisme penekanan setelah serbuk logam dimasukkan kedalam cetakan. Proses kompaksi pada umumnya dilakukan dengan penekanan satu arah dan dua arah. Pada penekan satu arah penekan atas bergerak kebawah. Sedangkan pada dua arah, penekan atas dan penekan bawah saling menekan secara bersamaan dalam arah yang berlawanan. Jenis dan macam produk yang dihasilkan oleh proses metalurgi serbuk sangat ditentukan pada proses kompaksi dalam membentuk serbuk dengan kekuatan yang baik. Pada proses kompaksi serbuk meliputi proses pengepresan suatu bentuk didalam cetakan yang terbuat dari baja. Tekanan yang diberikan berkisar antara 20-1400 MPa (Rusianto, 2009).

2.5.4 Pemanasan (*Sintering*)

Pemanasan pada temperatur di bawah titik leleh material disebut dengan sintering. Parameter sintering meliputi: temperatur (T), waktu, kecepatan pendinginan, kecepatan pemanasan, atmosfer sintering dan jenis material.

Berdasarkan pola ikatan yang terjadi pada proses kompaksi, ada 2 fenomena yang mungkin terjadi pada saat sintering, yaitu:

- a. Penyusutan (*shrinkage*)

Apabila pada saat kompaksi terbentuk pola ikatan bola-bidang maka pada proses sintering akan terbentuk *shrinkage*, yang terjadi karena saat proses sintering berlangsung gas (*lubricant*) yang berada pada porositas mengalami *degassing* (peristiwa keluarnya gas pada saat sintering). Dan apabila temperatur sinter terus dinaikkan akan terjadi difusi permukaan antar partikel matrik dan filler yang akhirnya akan terbentuk *liquid bridge/ necking* (mempunyai fasa campuran antara matrik dan *filler*). *Liquid bridge* ini akan menutupi porositas sehingga terjadi eliminasi porositas (berkurangnya jumlah dan ukuran porositas).

b. Retak (*cracking*)

Apabila pada kompaksi terbentuk pola ikatan antar partikel berupa bidang-bidang, sehingga menyebabkan adanya *trapping* gas (gas/*lubricant* terjebak di dalam material), maka pada saat sintering gas yang terjebak belum sempat keluar tapi *liquid bridge* telah terjadi, sehingga jalur porositasnya telah tertutup rapat. Gas yang terjebak ini akan mendesak ke segala arah sehingga terjadi bloating (mengembang), sehingga tekanan di porositas lebih tinggi dibanding tekanan di luar. Bila kualitas ikatan permukaan partikel pada bahan komposit tersebut rendah, maka tidak akan mampu menahan tekanan yang lebih besar sehingga menyebabkan retakan (*cracking*) Keretakan juga dapat diakibatkan dari proses pemadatan yang kurang sempurna, adanya shock termal pada saat pemanasan karena pemuaian dari matrik dan filler yang berbeda.

2.6 Karakterisasi Material Komposit Al/SiC

Beberapa jenis pengujian dan analisis yang dibahas untuk keperluan penelitian ini antara lain pengujian sifat fisis (densitas,

porositas dan kuat tekan), analisa struktur dengan menggunakan alat uji SEM serta analisa struktur kristal dengan alat uji XRD.

2.6.1 Sifat Fisis

A. Densitas

Densitas merupakan ukuran kepadatan dari suatu material atau perbandingan antara massa (m) dengan volume (v), yang secara matematis dituliskan:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

ρ : densitas (gr/cm³)

m: massa sampel (gram)

v : volume sampel (cm³)

B. Porositas

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri. Porositas suatu bahan dinyatakan dengan persamaan:

$$\phi = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

dimana ϕ : porositas (%)

m_k : massa sampel setelah dikeringkan didalam oven (gram)

m_b : massa sampel setelah direndam didalam air (gram)

C. Kuat Tekan

Kuat tekan suatu material didefinisikan sebagai kemampuan material dalam menahan beban atau gaya mekanis sampai terjadinya kerusakan (*failure*). Bentuk sampel uji biasanya

berbentuk silinder dengan perbandingan panjang dan diameter, (L/d) adalah 1 : 3.

Persamaan untuk menghitung nilai kuat tekan material adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (6)$$

dimana P : kuat tekan (Lb/mm²)

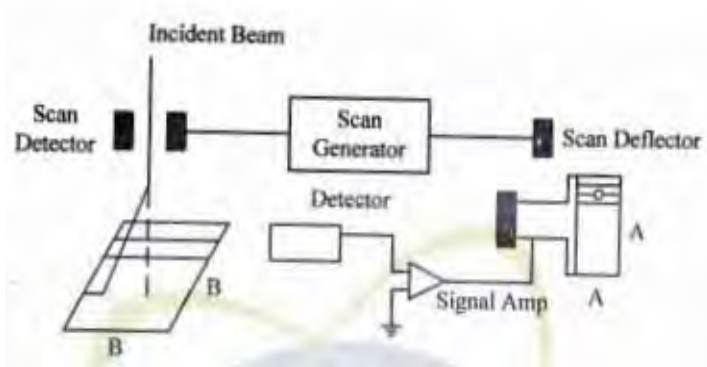
F : beban maksimum (Lb)

A : luas penampang sampel uji = $\pi d^2/4$ (mm²)

2.6.2 Analisa Mikrostruktur dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan untuk analisa permukaan material. SEM juga dapat digunakan untuk menganalisa data kristalografi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa. Prinsip kerja SEM dapat dilihat pada gambar 2.6, dimana dua sinar electron digunakan secara simultan. Satu *strike specimen* digunakan untuk menguji dan *strike* yang lain adalah *Cathode Ray Tube (CRT)* memberi tampilan gambar.

SEM menggunakan prinsip *scanning*, maksudnya berkas electron diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas electron dari satu titik ke titik yang lain pada suatu daerah objek menyerupai gerakan membaca. Gerakan membaca ini disebut dengan *scanning*. Komponen utama SEM terdiri dari dua unit, yaitu *electron column* (B) dan *display console* (A). *Electron column* merupakan model *electron beam scanning* sedangkan *display console* merupakan electron sekunder yang didalamnya terdapat CRT. Pancaran electron energy tinggi dihasilkan oleh *electron gun* yang kedua tipenya berdasar pada pemanfaatan arus.



Gambar 2.6 Skema Prinsip Dasar SEM (Leng, 2008).

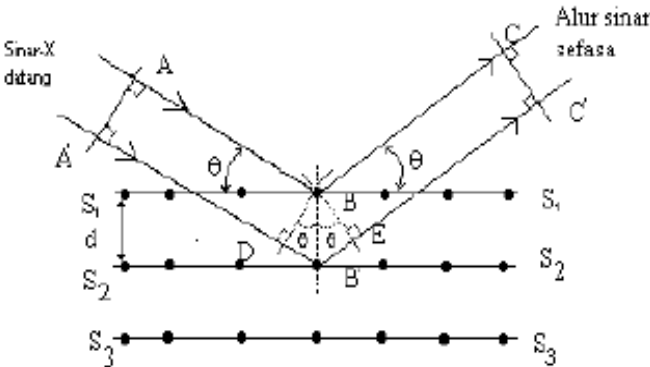
2.6.3 Identifikasi Fasa dengan XRD (*X-Ray Diffraction*)

Gambar 2.7 menunjukkan suatu berkas sinar-X dengan panjang gelombang λ , jatuh pada sudut θ pada sekumpulan bidang atom berjarak d . sinar yang dipantulkan dengan sudut θ hanya dapat terlihat jika berkas dari setiap bidang yang berdekatan saling menguatkan. Oleh sebab itu, jarak tambahan satu berkas dihamburkan dari setiap bidang yang berdekatan, dan menempuh jarak sesuai dengan perbedaan kisi yaitu sama dengan panjang gelombang $n\lambda$. Prinsip ini sesuai dengan hukum Bragg yaitu:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

- n = bilangan integer (1)
- λ = panjang gelombang
- d = jarak antar bidang kristal sejajar
- θ = sudut yang terbentuk



Gambar 2.7 Difraksi Bidang Atom (Leng, 2008).

BAB III METODOLOGI

3.1 Bahan dan Peralatan

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.1.1 Bahan yang Digunakan

1. Serbuk logam aluminium (Al) murni, sebagai matrik.
2. Serbuk silikon karbida (SiC) dengan ukuran 220 mesh, sebagai *filler* (penguat).
3. Zinc stearat, sebagai pelumas/*lubricant*.

3.1.2 Peralatan yang Digunakan

1. Timbangan digital, untuk menimbang massa sampel.
2. Wadah dan gelas ukur, untuk mengukur volume dari bahan baku.
3. Cetakan sampel (*diece*), sebagai tempat mencetak berbentuk silinder.
4. Pompa penekan hidrolik, untuk menekan pada proses *cold compaction*.
5. Oven (*furnace*), untuk proses memanaskan (sintering) sampel.
6. Amplas/kertas gosok, untuk menghaluskan permukaan sampel.
7. Jangka sorong, untuk mengukur dimensi sampel.
8. *Torsee Universal Testing Machine*, untuk alat uji kuat tekan.
9. Alat uji XRD.
10. Alat uji SEM.

3.2 Cara Kerja

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan komposit Al/SiC adalah sebagai berikut:

3.2.1 Penentuan Fraksi Volume

Pembuatan komposit dalam penelitian ini menggunakan bahan matrik aluminium (Al) dengan kemurnian 90% dan penguat silikon karbida (SiC) dengan ukuran 220 mesh. Kedua bahan tersebut dicampur dengan komposisi Al:SiC = 80% : 20%. Penentuan massa aluminium dan SiC dihitung dengan langkah sebagai berikut:

Volume Sampel

Sampel komposit dibuat dengan bentuk silinder dengan ketinggian 1 cm dan diameter 1,5 cm. kerapatan masing-masing bahan yaitu $\rho_{Al} = 2,77 \text{ gr/cm}^3$ dan $\rho_{SiC} = 2,9 \text{ gr/cm}^3$.

$$\begin{aligned} \text{volume komposit } (v_c) &= \pi r^2 t \\ &= 3,14 (0,75 \text{ cm})^2 1 \\ &= 1,76625 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Fraksi berat Al dan SiC masing-masing 80% dan 20%, sehingga dapat dihitung massa Al dan SiC.

Massa Aluminium (Al)

$$\begin{aligned} V_m &= \frac{v_m}{v_c} \\ v_m &= V_m v_c \\ &= 0,8 (1,76625 \text{ cm}^3) \\ &= 1,413 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}
 W_m &= v_m \rho_m \\
 &= 1,413 \text{ cm}^3 \left(2,77 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) \\
 &= 3,91401 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

Massa Silikon Karbida (SiC)

$$\begin{aligned}
 v_c &= v_f + v_m \\
 v_f &= v_c - v_m \\
 &= 1,76625 \text{ cm}^3 - 1,413 \text{ cm}^3 \\
 &= 0,35325 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}
 W_f &= v_f \rho_f \\
 &= 0,35325 \text{ cm}^3 \left(2,9 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) \\
 &= 1,024425 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

dimana:

V_m = fraksi volum matrik, W_m = fraksi berat matrik, W_f = fraksi berat *filler*, v_m = volume matrik, v_f = volume *filler*, ρ_m = massa jenis matrik, ρ_f = massa jenis *filler*.

3.2.2 Pemanasan Matrik Al

Sebelum proses pencampuran, matrik aluminium dipanaskan pada temperatur 40°C, 60°C, dan 80°C masing-masing selama 1 jam. Pemanasan matrik ini bertujuan untuk memudahkan proses pencampuran serta untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat fisis dari komposit.

3.2.3 Pencampuran (*Mixing*)

Serbuk Al dan serbuk SiC yang masing-masing massanya telah dihitung, yaitu penguat sebesar 20% berat, dicampur dalam gelas ukur dengan cara pencampuran biasa (*dry mixing*) sampai homogen kurang lebih selama 10 menit.

3.2.4 Pencetakan Sampel

Pencetakan sampel uji dilakukan dengan cara *cold compaction* dengan menggunakan pompa penekan hidrolik. Sebelum sampel dimasukkan ke dalam cetakan, dinding cetakan terlebih dahulu diolesi zinc stearat untuk mempermudah proses kompaksi, mereduksi gesekan antara serbuk logam dengan dinding cetakan, serta supaya sampel tidak lengket pada cetakan. Campuran serbuk Al dan SiC dimasukkan ke dalam cetakan dan dilakukan penekanan (kompaksi) menggunakan pompa hidrolik sebesar 300 MPa dengan waktu tahan selama 10 menit untuk memperoleh spesimen dengan kekuatan yang mencukupi agar mudah dikeluarkan dari cetakan dan tidak hancur pada saat dipegang.

3.2.5 Sintering

Setelah didapatkan sampel dengan bentuk sesuai dengan cetakan yaitu silinder, kemudian dilakukan proses sintering. Sintering merupakan suatu proses pembakaran bahan komposit agar butiran-butiran saling mengikat (difusi) dan terjadi peningkatan nilai densitas. Proses sintering dilakukan menggunakan *vacuum furnace* dan diatur sesuai dengan suhu pembakaran yang telah ditentukan dengan waktu penahanan selama 2 jam pada temperatur 400°C, 500°C dan 600°C. Sebelumnya dilakukan presinter pada temperatur 200°C selama 1 jam untuk menghindari terjadinya *shock thermal*.

3.3 Pengujian Sampel

3.3.1 Densitas

Tujuan dari pengujian densitas adalah untuk mengetahui kepadatan dari sampel berdasarkan perlakuan suhu pada pemanasan dan proses sintering. Pengukuran densitas pada pembuatan komposit matrik logam ini dilakukan dengan pengukuran massa dan dimensi sampel. Kemudian dihitung nilai densitas menggunakan persamaan (4).

3.3.2 Porositas

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui bagaimana tingkat keporousan dari sampel. Pengukuran porositas ini dilakukan setelah sintering, dengan tahapan sebagai berikut: sampel yang sudah disinter dibersihkan dan ditimbang dengan timbangan digital. Setelah ditimbang kemudian direbus dalam air mendidih menggunakan kompor dengan tujuan untuk mengoptimalkan penetrasi air terhadap sampel uji. Setelah direbus, sampel di lap dengan kain halus dan ditimbang massanya (m_b). Kemudian ditentukan nilai porositasnya menggunakan persamaan (5).

3.3.3 Uji Kuat Tekan

Pengujian kekuatan tekan bertujuan untuk mengukur kekuatan tekan bahan (sampel) terhadap tekanan mekanis. Alat yang digunakan adalah *Torsee Universal Testing Machine* dengan kapasitas 50 ton. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil ITS Surabaya.

3.3.4 Uji SEM

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui (identifikasi) bentuk morfologi dari komposit. Mekanisme alat ukur SEM dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Sampel diletakkan dalam cawan (sampel holder).
- Sampel disinari dengan pancaran elektron bertenaga kurang lebih 20 kV sehingga sampel memancarkan elektron turunan

(*secondary electron*) dan elektron terpantul (*backscattered electron*) yang dapat dideteksi dengan *detector scintillator* yang diperkuat sehingga timbul gambar pada layar CRT.

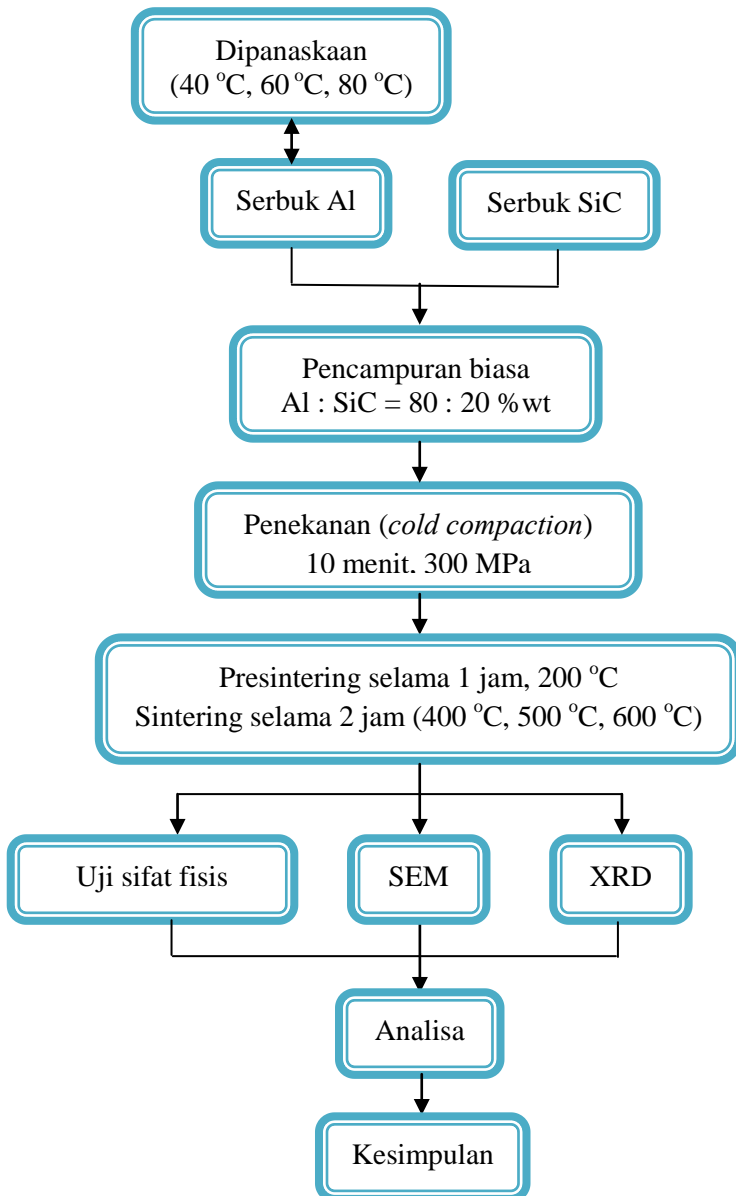
- Pemindaian dilakukan setelah dilakukan pengaturan pada bagian tertentu, dari objek dan perbesaran 300X sehingga diperoleh foto hasil uji SEM

(Sakti, 2008).

3.3.5 Uji XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk karakterisasi struktur kristal dan identifikasi fasa sampel uji. Karakterisasi struktur kristal ini dilakukan untuk mengetahui perubahan fasa struktur bahan dan mengetahui fasa apa saja yang terbentuk selama proses pembuatan sampel.

3.4 Diagram Alir Penelitian



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Proses Kompaksi

Proses pemadatan serbuk menjadi sampel dengan bentuk tertentu sesuai dengan cetakannya disebut dengan kompaksi. Kompaksi dilakukan setelah proses pencampuran serbuk aluminium dengan serbuk SiC. Kompaksi ini dilakukan dengan tujuan untuk membentuk ikatan antar partikel bahan serbuk akibat gaya luar sehingga terbentuk padatan dengan densitas tinggi.

Terdapat dua macam metode kompaksi yaitu *cold compressing* (penekanan pada temperatur kamar) dan *hot compressing* (penekanan pada temperatur diatas temperatur kamar). Pada penelitian ini dilakukan dengan metode *cold compressing* untuk menghindari terjadinya oksidasi karena logam aluminium bersifat mudah teroksidasi.

Proses kompaksi juga bertujuan untuk menghindari gas yang terjebak di dalam spesimen. Apabila ada gas yang terjebak dalam spesimen, maka akan menimbulkan porositas yang cukup besar dan hal ini merupakan kegagalan dalam proses pembuatan komposit matrik logam dengan menggunakan metode metalurgi serbuk.

Pada proses kompaksi, gaya gesek yang terjadi antar partikel yang digunakan dan antar partikel komposit dengan dinding cetakan akan mengakibatkan kerapatan pada daerah tepi dan bagian tengah tidak merata. Untuk menghindari terjadinya perbedaan kerapatan tersebut, maka pada saat kompaksi digunakan *lubricant*/pelumas yang dioleskan pada dinding cetakan dengan tujuan untuk mengurangi gesekan antar partikel dan dinding cetakan. Dalam penggunaan pelumas dipilih bahan yang tidak reaktif terhadap campuran serbuk dan yang memiliki titik leleh rendah, sehingga pada proses sinter tingkat awal pelumas dapat menguap. Pada penelitian ini pelumas yang

digunakan adalah zinc stearat berupa bubuk berwarna putih dengan titik leleh 130 °C.

Terkait dengan pemberian pelumas pada proses kompaksi, terdapat dua metode kompaksi yaitu *die-wall compressing* dan *internal lubricant compressing*. Pada penelitian ini digunakan cara *die-wall compressing* yaitu penekanan dengan mengoleskan pelumas pada dinding cetakan. Sedangkan *internal lubricant compressing* tidak digunakan karena pelumas dicampurkan pada material yang akan ditekan dan dikhawatirkan pelumas terjebak (*trapping*) dalam ikatan partikel dari komposit Al/SiC.

Gaya adhesi kohesi antar partikel serbuk merupakan fenomena interaksi awal ikatan antar permukaan partikel setelah proses kompaksi. Proses tersebut disebabkan oleh beberapa aspek diantaranya gaya Van der Waals, elektrostatis dan *interlocking* antar permukaan. Terbentuknya *green density* tergantung pada besar gaya kompresi yang diberikan pada material (Zainuri,2008).

Interlocking antar permukaan partikel dapat terjadi akibat kekasaran permukaan partikel tersebut. Semakin kasar partikel, maka gaya *interlocking*-nya semakin tinggi. Nilai kekasaran partikel ditentukan dengan nilai *bulkiness*, yaitu perbandingan antara jari-jari partikel terhadap besarnya sudut jari-jari tersebut. Gaya elektrostatis (gaya coulomb) merupakan gaya tarik menarik antara muatan yang berbeda atau berlawanan. Gaya eksternal yang diberikan menyebabkan gesekan antar partikel, sehingga terjadilah gaya coulomb. Gesekan tersebut menyebabkan munculnya muatan-muatan pada tiap-tiap partikel. Muatan yang sama akan tolak-menolak dan muatan yang berbeda akan tarik-menarik, sehingga partikel yang berbeda muatan akan saling berdekatan. Gaya Van der Waals dapat terjadi pada antar partikel dengan jarak interaksi minimal 4 Å. Ikatan akibat gaya Van der Waals bersifat lemah, karena hanya terjadi pada awan elektron antar partikel. Ikatan Van der Waals terbentuk akibat fluktuasi dipole antar partikel (Purwaningsih,2007).

Akibat dari gaya Van der Waals maka terdapat tiga kemungkinan model ikatan yaitu pola ikatan bola-bola, pola ikatan bola-bidang dan pola ikatan bidang-bidang. Ikatan bola-bidang merupakan ikatan yang paling diharapkan dibandingkan ikatan yang lain karena ikatan ini mempunyai kontak antar permukaan paling luas dan memiliki porositas yang tidak terlalu besar. Pada ikatan bola-bola kontak permukaannya sempit, sehingga porositasnya sangat besar, sedangkan ikatan bidang-bidang, ikatan antar partikelnya sangat kuat, namun kemungkinan terjadinya *trapping* gas atau *trapping* pelumas sangat besar sehingga dapat memicu timbulnya keretakan (*cracking*).

4.2 Fenomena Sintering

Sintering merupakan suatu proses pengikatan partikel melalui proses pemanasan pada temperatur dibawah titik leleh dari material komposit yang dilakukan selama proses penekanan atau sesudah penekanan. Sebelum proses sinter, selalu diawali dengan proses presinter. Presinter sendiri merupakan proses pemanasan yang bertujuan untuk mengurangi residual stress akibat proses kompaksi (*green density*) dan mengeluarkan gas dari atmosfer atau pelumas padat yang terjebak dalam porositas bahan komposit (*degassing*). Selain itu presinter juga bertujuan untuk menghindari perubahan temperatur yang terlalu cepat pada saat proses sinter (*shock thermal*). Biasanya presinter dilakukan pada 1/3 temperatur lelehnya.

Mekanisme transport adalah suatu metode dimana laju massa terjadi akibat respon gaya penggerak. Dua jenis mekanisme transport yaitu permukaan dan *bulk*. Kedua mekanisme tersebut sebagai kontribusi laju massa.

Menurut Hirschorn, pada sampel yang telah mengalami kompaksi sebelumnya, akan mengalami beberapa tahapan sinter yaitu ikatan mula antar partikel serbuk, tahap pertumbuhan leher (*necking growth*), tahap penutupan saluran pori, tahapan pembulatan pori dan tahap penyusutan (*shrinkage*).

Saat sampel mengalami proses sinter, maka akan terjadi pengikatan. Proses ini meliputi difusi atom-atom yang mengarah kepada pergerakan dari batas butir. Ikatan ini terjadi pada tempat dimana terdapat kontak fisik antar partikel-partikel yang berdekatan. Semakin tinggi massa jenis sampel, maka akan banyak bidang kontak antar partikel, sehingga proses pengikatan yang terjadi dalam proses sinter juga semakin besar.

Tahapan selanjutnya adalah pertumbuhan leher. Pertumbuhan leher terjadi karena adanya perpindahan massa, tetapi tidak mempengaruhi jumlah porositas yang ada dan juga tidak menyebabkan terjadinya penyusutan.

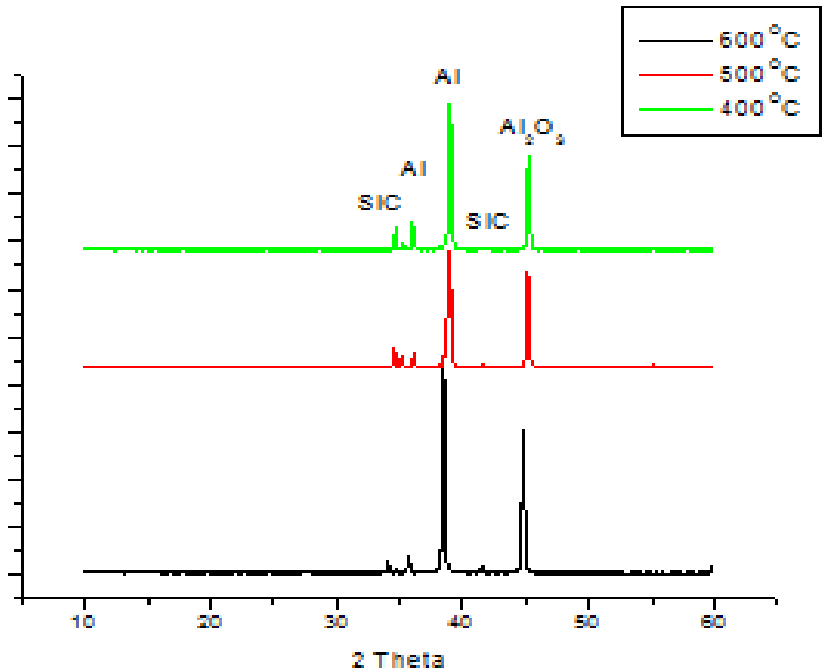
Pertumbuhan butiran mengakibatkan terjadinya penutupan saluran pori yang saling berhubungan. Penutupan saluran pori juga dapat terjadi oleh penyusutan pori, dan menyebabkan kontak baru yang terbentuk diantara permukaan-permukaan pori.

Setelah tahap pertumbuhan leher, material dipindahkan dari permukaan pori dan pori tersebut akan menuju ke daerah leher yang mengakibatkan permukaan dinding tersebut menjadi halus. Bila perpindahan massa terjadi terus-menerus melalui daerah leher, maka pori disekitar permukaan leher akan mengalami proses pembulatan. Dengan temperatur dan waktu yang cukup pada proses sinter maka pembulatan pori akan lebih sempurna.

Tahap penyusutan berhubungan dengan proses densifikasi (pemadatan). Tahap ini akan mengakibatkan terjadinya penurunan volume, dan sampel akan menjadi lebih padat. Dengan adanya penyusutan ini kepadatan pori akan meningkat. Tahap penyusutan pori ini terjadi akibat pergerakan gas-gas yang terdapat di daerah pori keluar menuju permukaan. Dengan demikian tahap ini akan meningkatkan massa jenis sampel yang telah di sinter.

4.3 Hasil Pengujian Difraksi Sinar-X

Pengujian dengan menggunakan difraksi sinar-x bertujuan untuk identifikasi fasa atau mengamati unsur-unsur (fase-fase) yang terbentuk pada sampel komposit setelah proses sinter. Hasil pengujian XRD ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD pada Berbagai Temperatur dengan Pemanasan Matrik Pra-Kompaksi Sebesar 40 °C

Setelah pengukuran dengan difraktometer sinar-X, diperoleh hasil berupa pola-pola difraksi seperti ditunjukkan pada gambar 4.1 diatas. Adanya fasa kristalin ditunjukkan dengan puncak-puncak difraksi. Terdapat 5 posisi yang merupakan fase-fase yang memiliki puncak tertinggi dalam proses pembuatan

komposit Al/SiC pascasinter pada temperatur pemanasan matrik prakompaksi sebesar 40 °C.

Setelah mendapatkan nilai 2 θ dari fase-fase puncak tertinggi yang muncul, maka dapat ditentukan nilai d (panjang kisi kristal) yaitu jarak antar atom penyusun suatu fase (senyawa), dengan menggunakan hukum Bragg. Nilai d yang diperoleh untuk masing-masing puncak tertinggi ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai d dan Senyawa yang Terbentuk pada Temperatur Pemanasan Matrik Prakompaksi 40°C dan Temperatur Sinter 400°C

No.	2 θ (°)	d (Å)	Senyawa
1	34,04	2,6317	SiC
2	35,97	2,4950	Al
3	38,59	2,3313	Al
4	41,61	2,1689	SiC
5	45,78	1,9803	Al ₂ O ₃ - γ

Dari hasil analisa difraksi sinar-X menggunakan *software Match!*, untuk ketiga sampel uji yaitu pada temperatur sinter 400°C, 500°C dan 600°C dengan temperatur pemanasan matrik prakompaksi sebesar 40 °C ternyata mempunyai pola difraksi yang hampir sama. Komponen Al dan SiC yang terbentuk sama besar, dan muncul fasa baru yaitu fasa oksida logam Al₂O₃- γ (*Aluminium Oxide*). Terbentuknya formasi Al₂O₃ pada permukaan Al dalam lingkungan atmosfer dimana mekanisme reaksinya dinyatakan dengan $2Al + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow Al_2O_3$.

Kemunculan fasa Al₂O₃ pada tiap pola difraksi terdapat pada posisi 2 θ yang sama untuk masing-masing hasil sinter. Perbedaan yang tampak hanyalah pada ketinggian puncak difraksi dimana puncak-puncak fasa Al₂O₃ mengalami peningkatan jumlah intensitas serta penambahan lebar fasa pada

setiap peningkatan variasi temperatur sinter yang menunjukkan adanya Al yang berikatan dengan oksigen.

Munculnya fasa Al_2O_3 menunjukkan adanya oksigen yang kemungkinan terjadi pada saat proses sinter. Meskipun didalam proses sinter telah dihindari terjadinya oksida logam dengan menggunakan vakum *furnace*, namun kemungkinan kevakuman *furnace* tersebut masih kurang sempurna sehingga masih terdapat oksigen didalam *furnace*. Penyebab lain munculnya fasa Al_2O_3 bisa juga disebabkan karena terdapat pengotor dalam *furnace* yang digunakan, misalnya masih terdapat kandungan material lain didalam *furnace* tersebut yang berinteraksi dengan sampel komposit Al/SiC.

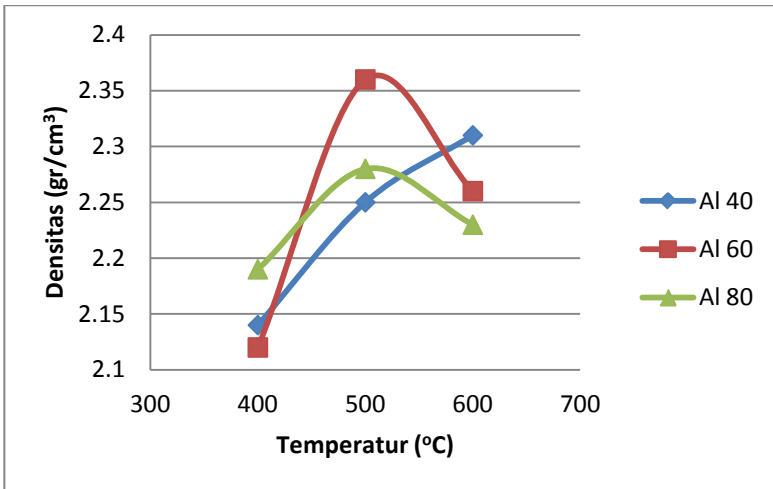
Jika dihubungkan dengan kondisi fisisnya, keberadaan oksida logam yang semakin besar berakibat pada berkurangnya kekuatan sampel dan kondisi sampel yang semakin mengembang setelah proses sinter pada temperatur sinter $500^{\circ}C$ dan $600^{\circ}C$. Hal ini mengakibatkan densitas sampel berkurang yang berimbas pada nilai kuat tekan yang juga semakin menurun.

Selama proses sinter kemungkinan terjadi reaksi sebagai berikut: $4Al + SiC_3 \rightarrow Al_4C_3 + Si$. Komponen Al_4C_3 tersebut memiliki kelemahan, yaitu bersifat mudah terkorosi (degradasi). Pada penelitian ini Al_4C_3 tidak terbentuk dalam proses fabrikasi komposit matrik logam. Hal ini berarti ketahanan korosi atau fabrikasi dari komposit Al/SiC akan bersifat jauh lebih baik terhadap ketahanan pengaruh lingkungan.

4.4 Pengaruh Temperatur Pemanasan Matrik terhadap Densitas

Setelah proses sinter dilakukan pengujian densitas. Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka nilai densitas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (4). Hasil pengujian densitas pada berbagai temperatur dapat dilihat pada gambar 4.2 dan gambar 4.3.

Nilai densitas dapat diperoleh melalui proses pencetakan dan penekanan (kompaksi) menggunakan pompa hidrolik dengan pembebanan sebesar 300 MPa dan waktu tahan selama 10 menit. Nilai densitas setelah proses kompaksi (*green density*) terjadi karena adanya ikatan kohesivitas (adhesi-kohesi) bahan komposit.

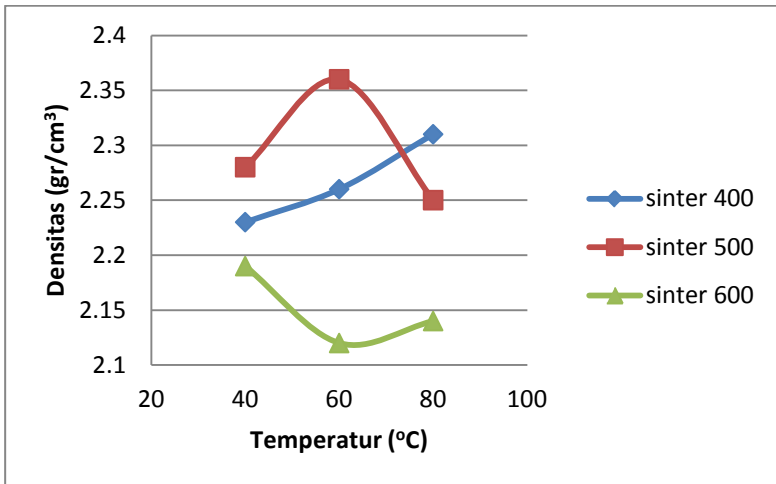


Gambar 4.2 Grafik Hubungan Temperatur Sinter Terhadap Densitas

Dari gambar 4.2 pada temperatur pemanasan matrik 40°C nilai densitas mengalami peningkatan seiring dengan naiknya temperatur sinter yang diberikan. Hal ini terjadi karena semakin ditingkatkan temperatur maka sampel akan mengalami proses difusi matrik Al terhadap penguat SiC yang ditandai dengan perubahan bentuk setelah proses sinter (sebagian badan sampel timbul tonjolan-tonjolan yang porous). Dengan bertambahnya temperatur, maka butiran-butiran Al dan SiC akan semakin rapat dan densitas akan meningkat.

Namun pada pemanasan matrik dengan temperatur 60 °C dan 80 °C grafik menunjukkan penurunan nilai densitas pada

temperatur sinter 600 °C. Hal ini dikarenakan kemungkinan pada saat proses sinter masih ada bubuk pelumas zinc stearat yang terselip atau tercampur dengan campuran serbuk Al dan SiC. Karena serbuk zinc stearat mempunyai koefisien muai lebih rendah daripada serbuk aluminium dan SiC sehingga terjadi keretakan (*cracking*) di antara ikatan permukaan campuran serbuk Al dan SiC. Ikatan dari komposit Al/SiC tersebut berkurang (melemah) sehingga densitasnya juga berkurang.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Temperatur Pemanasan Matrik Terhadap Densitas

Terjadinya ikatan antar serbuk diakibatkan oleh adanya pergerakan energi yang menyebabkan terjadinya transformasi massa pada permukaan rongga porositas, sehingga dimensi semakin kecil dan menjadikan komposit semakin mampat. Akan tetapi meskipun pada kenyataannya terjadi pengurangan massa sampel hasil sintering, volume sampel justru meningkat pada setiap kenaikan variabel temperatur yang dapat disebabkan karena adanya pengotor dan oksigen yang terjebak dalam sampel

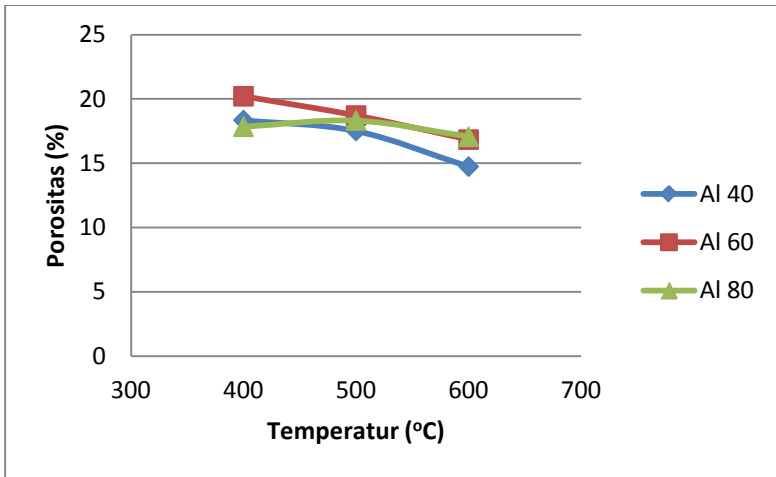
selama proses sinter berlangsung walaupun berada pada lingkungan vakum (Hafizah, 2012).

Pada gambar 4.3 dapat dilihat grafik hubungan temperatur pemanasan matrik prakompaksi terhadap densitas. Pada garis berwarna biru menunjukkan semakin tinggi temperatur pemanasan matrik prakompaksi yang diberikan maka proses pencampuran matrik Al dan penguat SiC akan semakin mudah serta terjadinya ikatan butiran antar partikel juga semakin mudah sehingga jarak antar partikel menjadi semakin rapat atau semakin kecil. Dengan butiran partikel yang semakin rapat tersebut maka densitas sampel setelah proses pemanasan matrik prakompaksi tersebut akan semakin besar.

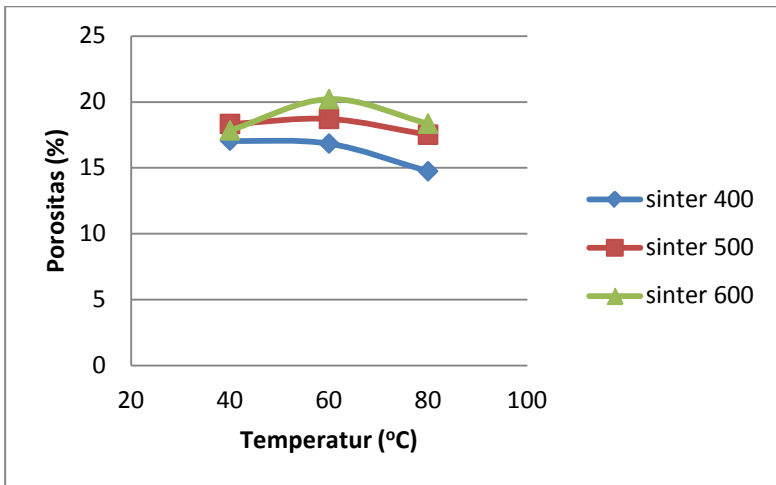
Dapat dibandingkan pada gambar 4.2 dan gambar 4.3 bahwa temperatur pemanasan matrik dan temperatur sinter, keduanya mempunyai pengaruh terhadap densitas komposit. Semakin tinggi temperatur baik temperatur sinter maupun temperatur pemanasan matrik memberikan dampak meningkatnya densitas. Hal ini dapat dilihat dari grafik yang mempunyai pola yang hampir sama.

4.5 Pengaruh Temperatur Pemanasan Matrik terhadap Porositas

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka nilai porositas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (5). Hasil pengujian porositas pada berbagai temperatur dapat dilihat pada gambar 4.4 dan gambar 4.5.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Temperatur Sinter Terhadap Porositas



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Temperatur Pemanasan Matrik Terhadap Porositas

Pada gambar 4.4 dan gambar 4.5 dapat dilihat hubungan antara peningkatan temperatur sinter dan temperatur pemanasan matrik terhadap porositas, semakin tinggi temperatur sinter maupun temperatur pemanasan matrik maka porositas akan semakin rendah. Hal ini berarti bahwa hubungan temperatur sinter maupun temperatur pemanasan matrik terhadap porositas sampel adalah berkebalikan.

Gambar 4.5 menunjukkan grafik hubungan temperatur pemanasan matrik terhadap porositas. Semakin tinggi temperatur pemanasan matrik maka semakin mudah terbentuk ikatan antar partikel serbuk dan butiran partikel semakin kuat sehingga jarak partikel menjadi semakin rapat atau semakin kecil. Karena semakin mudah terjadi ikatan maka rongga yang terbentuk akan semakin berkurang sehingga porositas sampel akan semakin kecil.

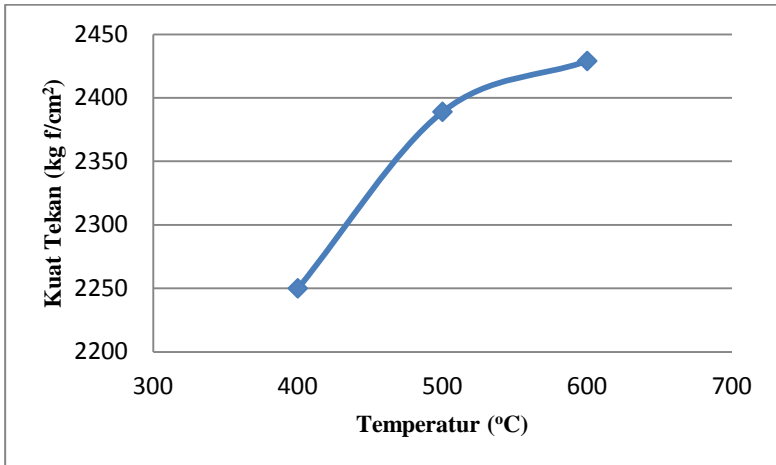
Semakin tinggi temperatur yang diberikan pada sampel maka densitas sampel tersebut akan semakin meningkat dan pori-pori yang dihasilkan akan semakin berkurang sehingga porositas berkurang atau semakin kecil. Berdasarkan hasil pengujian porositas material komposit Al/SiC yang terbaik yaitu dengan nilai porositas terendah adalah pada temperatur pemanasan matrik 40 °C dan temperatur sinter 600 °C sebesar 14,74 %.

Apabila secara eksperimental nilai densitas dapat ditentukan, tetapi tidak memenuhi nilai densitas menurut teoritik, maka dapat diasumsikan telah terjadi sejumlah porositas. Semakin jauh selisih antara nilai densitas teoritik dan eksperimen, maka semakin besar pula porositas yang terjadi. Dalam penelitian ini selisih antara densitas teoritik dan densitas eksperimental kurang lebih bernilai 0,48 gr/cm³.

Tingkat keporous-an material juga dipengaruhi oleh distribusi serbuk. Pada komposit Al/SiC porositas terjadi pada daerah antar muka matrik dan penguat. Jika distribusi serbuk SiC kurang merata terhadap matriknya, maka belum terjadi kontak permukaan yang baik antar kedua serbuk sehingga material tersebut semakin porous.

4.6 Analisa Kuat Tekan

Dari pengujian kuat tekan yang dilakukan diperoleh hasil yang ditunjukkan pada gambar 4.6 Penghitungan nilai kuat tekan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (6).

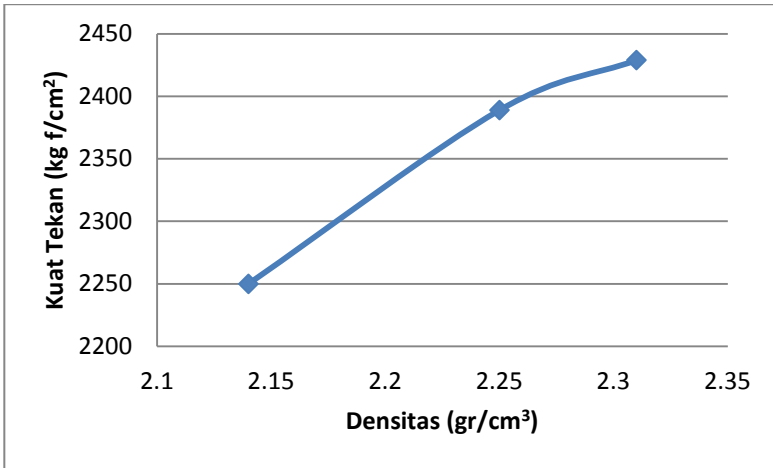


Gambar 4.6 Grafik Hubungan Temperatur sintering terhadap Nilai Kuat Tekan

Gambar 4.6 menunjukkan hubungan temperatur sinter terhadap nilai kuat tekan pada temperatur pemanasan matrik 40°C. Dari grafik pada gambar 4.6 di atas, dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur yang diberikan.

Peningkatan nilai kuat tekan juga dipengaruhi oleh nilai densitas dari sampel. Apabila nilai densitas dari sampel semakin tinggi maka nilai kuat tekan juga meningkat. Semakin padat suatu sampel (densitas semakin tinggi) maka kemampuan sampel komposit Al/SiC dalam menahan beban atau gaya mekanis dari luar semakin besar, yang artinya membutuhkan energi yang besar untuk menghancurkan sampel komposit tersebut. Hal ini dapat dibandingkan dari gambar 4.2 dan gambar 4.6. Grafik yang dihasilkan antara nilai densitas dan nilai kuat tekan mempunyai

pola yang hampir sama. Hubungan antara densitas dan kuat tekan dapat dilihat dari gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Densitas Terhadap Nilai Kuat Tekan.

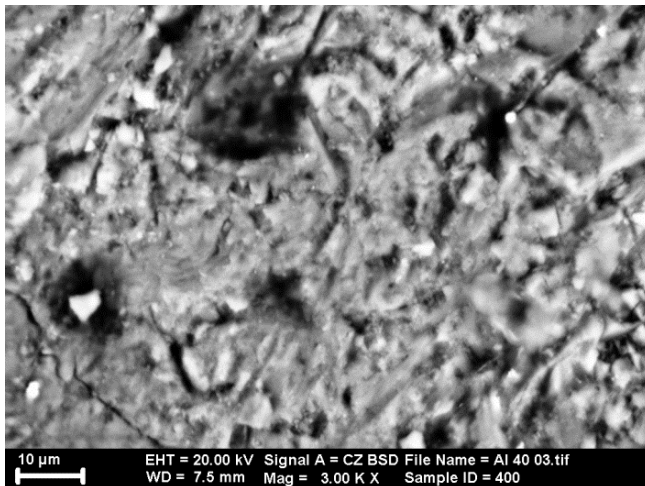
Peningkatan kekuatan tekan dari temperatur 400°C ke 500°C sangat terlihat jelas pada grafik 4.6 diatas. Hal ini dikarenakan pada temperatur 400°C mekanisme sintering didominasi oleh transportasi permukaan sehingga ikatan partikelnya belum terlalu kuat, ikatannya masih dalam tahap pertumbuhan leher (*neck growth*) dan partikel yang berfungsi sebagai pengikat belum terdeformasi termal secara merata.

Pada temperatur 400°C banyak terdapat pori-pori sedangkan pori-pori merupakan indikasi terjadinya retakan. Pada temperatur 500°C ikatan partikelnya sudah jauh lebih kuat dibanding pada temperatur 400°C . Hal ini disebabkan karena mekanisme sintering yang terjadi sudah tidak didominasi transportasi permukaan melainkan transportasi *bulk*. Selain itu terjadi pengurangan jumlah pori pada suhu 500°C , hal ini diketahui dengan bertambahnya densitas pada suhu 500°C (gambar 4.7). Pada temperatur 500°C sampai 600°C peningkatan

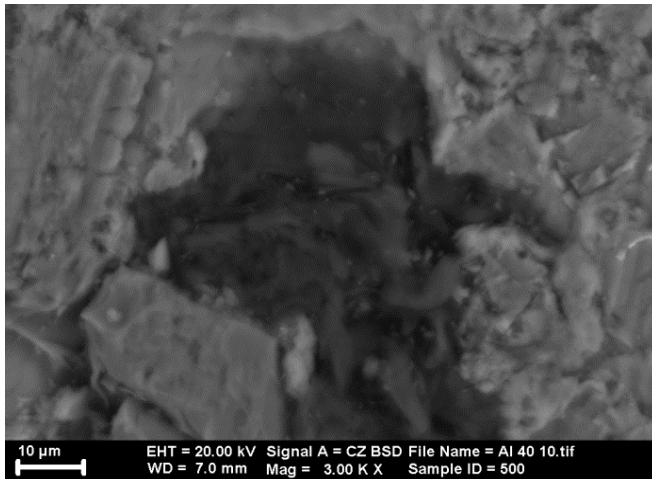
kekuatan tekan sudah tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan pada temperatur ini pertambahan laju aliran massa yang kecil dan tahap pertumbuhan lehernya sudah mencapai tahap pertumbuhan pori.

Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh dengan nilai 2429 kgf/cm² atau setara dengan 243 MPa pada temperatur 600°C. Secara teoritik nilai kuat tekan dari komposit Al/SiC berkisar antara 300-450 MPa. Nilai ini masih jauh berbeda dengan kuat tekan yang diperoleh secara eksperimen. Hal ini kemungkinan juga disebabkan oleh distribusi dari partikel serbuk aluminium dan SiC yang kurang merata sehingga ikatan antara matrik Al dan penguat SiC kurang maksimal sehingga pada penekanan dengan gaya 243 Mpa sampel uji sudah hancur (retak).

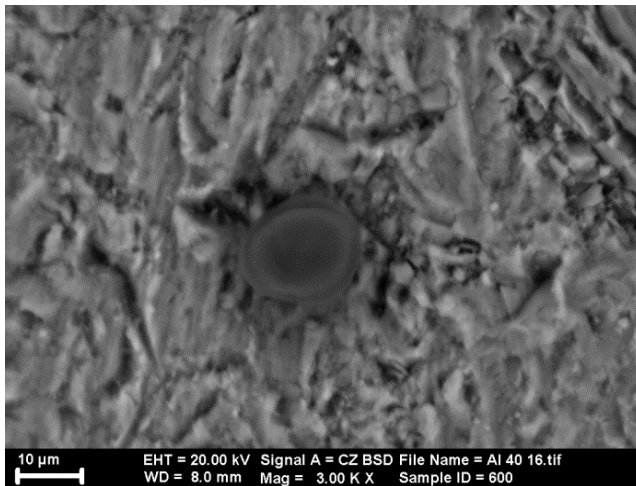
4.7 Analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*)



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8. Foto SEM dari Komposit Al/SiC pada Temperatur Pemanasan Matrik Prakompaksi Sebesar 40 °C, dengan Temperatur Sinter (a) 400 °C (b) 500 °C dan (c) 600 °C

Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengamatan SEM dengan perbesaran 3000X. Dalam proses pembuatan komposit matrik logam dengan menggunakan metalurgi serbuk, sangat diharapkan partikel penguat SiC terdistribusi secara merata pada matrik Al dan tidak terjadi penggumpalan (aglomerasi), karena apabila hal ini terjadi maka dapat mengurangi sifat fisis dan mekanis dari komposit tersebut.

Pada dasarnya kehomogenan distribusi Al-SiC akan berpengaruh pada kualitas sifat fisis dan mekanisnya. Dalam tahap awal proses sinter, atom-atom akan bergerak untuk memperbanyak jumlah kontak antar partikel. Kondisi ini kemudian terus mengalami perbaikan di tahap-tahap berikutnya dengan terbentuknya kaitan antar butir yang terus-menerus mengeliminasi porositas antar butir selama *holding time*. Semakin homogen distribusi partikel, maka semakin besar pula porositas yang tereliminasi, yang berimbas pada kepadatan dari komposit yang semakin baik (Hafizah, 2011).

Dari hasil pengamatan SEM pada gambar 4.8 untuk masing-masing temperatur menunjukkan bahwa antara serbuk SiC dan serbuk Al belum terdistribusi secara merata, sehingga mengurangi sifat fisis dan sifat mekanis dari sampel komposit. Butiran aluminium berwarna putih (terang) dan butiran SiC berwarna abu-abu (gelap) terlihat jelas adanya penggumpalan (aglomerasi) yang menandakan antara serbuk aluminium dan serbuk SiC belum membentuk ikatan yang sempurna.

Dengan temperatur sinter 400°C, pada gambar 4.8(a) terlihat antara matrik aluminium dan penguat SiC hampir tercampur merata atau homogen. Terdapat sedikit aglomerat SiC namun tidak terlalu banyak atau terlihat kecil. Sedangkan dengan komposisi yang sama dengan temperatur sinter 500°C dan 600°C seperti terlihat pada gambar 4.8(b) dan gambar 4.8(c), terjadi penggumpalan penguat SiC yang sangat menonjol dan berkelompok. Karena alasan inilah sifat fisis dari komposit Al/SiC hasil penelitian masih jauh dari yang diharapkan. Hal ini terlihat dari hasil penelitian, salah satunya densitas dari komposit

Al/SiC secara teoritik antara 2,6-3,1 gr/cm³ sedangkan pada hasil eksperimen densitas tertinggi hanya mencapai 2,36 gr/cm³. Hal ini diakibatkan karena pencampuran dilakukan dengan cara biasa sehingga sulit untuk memastikan serbuk Al dan serbuk SiC tercampur secara merata dan homogen.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan judul “Pengaruh Pemanasan Serbuk Al Pra-kompaksi terhadap Sifat Fisis Komposit Al/SiC Hasil Metode Metalurgi Serbuk” maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemanasan matrik Al prakompaksi sebesar 40°C, 60°C dan 80°C memberikan pengaruh terhadap densitas dan porositas. Semakin tinggi temperatur pemanasan matrik Al, densitas komposit Al/SiC semakin tinggi dan porositas semakin kecil.
2. Semakin padat (densitas semakin tinggi) sampel komposit Al/SiC maka kemampuan sampel dalam menahan beban atau gaya mekanis dari luar semakin besar.

2.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian terhadap kekuatan tarik, kekuatan patah (*Bending Strength*), kekerasan (*Vickers Hardness Test*), konduktivitas termal serta modulus elastisitas dari komposit matrik logam Al-SiC agar penelitian lebih komplit.
2. Selain itu penelitian ini masih bisa dikembangkan dengan penggunaan bahan baku aluminium dari sumber lainnya yang lebih murah seperti dari kaleng minuman atau makanan bekas serta silikon karbida dapat disintesa dari bahan lain seperti sekam padi dan tempurung kelapa.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Cantor, B., Dunne, F. and Stone, I. 2004. **Metal and Ceramic Matrix Composites**. IOP Publishing Ltd.
- Chabibah, N. dan Zainuri, M. 2011. “Pengaruh Media Pencampur terhadap Aspek Mekanik Komposit Al/SiC”. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hafizah, D.P. dan Faisal, H. 2012 “Pengaruh Variasi Suhu Sintering pada Komposit Al-Mg-Si terhadap Kekuatan dengan Teknik Metalurgi Serbuk”. Jurnal Sains Vol. 1, No. 1:1-6.
- Izadi, H., Nolting, A., Munro, C., Bishop, D.P., Plucknett, K.P., and Gerlich, A.P. 2013. “Friction Stir Processing of Al/SiC Composite Fabricated by Powder Metallurgy”. Journal of Material Processing Technology 213:1900-1907.
- Leng, Y. 2008. **Materials and Characterization Introduction to Microscopic and Spectroscopic Method**. John Wiley and Sons (Asia) Pte Ltd.
- Mitchell, C.A. 2002. A Study of the Powder Processing, Tribological Performance and Metallurgt of Aluminium-Based, Discontinuously Reinforced Metal Matrix Composites. A thesis of Napier University.
- Purwaningsih, P. 2007. Fabrikasi dan Karakterisasi Komposit Isotropik Al/SiC dengan Pelapis Filler Al₂O₃ dan Variasi Waktu Sintering. Laporan Tugas Akhir Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya.

- Romadhonal, S. 2010. Pembuatan Komposit Matrik Logam Berpenguat Keramik (Al/SiC) Dicampur Kayu dengan Metode Metalurgi Serbuk. Laporan Tugas Akhir Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Rusianto, T. 2009. “Hot Pressing Metallurgy Serbuk Aluminium dengan Variasi Suhu Pemanasan”. Jurnal Teknologi, Volume 2, No. 1:89-95.
- Sakti, K. 2009. Pembuatan Komposit Metal Al Alloy Nano Keramik SiC dan Karakterisasinya. Laporan Tesis Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara Medan.
- Sukanto, H. 2009. “Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Densitas dan Kekuatan Komposit Plastik – Karet”. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M Vol. 3 No. 1 (59-61).
- Syazana, E.A. 2008. Effect of Weight Percentage of Silicon Carbide (SiC) Reinforcement Particles on Mechanical Behavior of Aluminium Metal Matrix Composite (Al MMC). A Report of Bachelor of Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering University Malaysia Pahang.
- Zainuri, M. 2003. “Pengaruh *Green Density* terhadap Kompaktibilitas Bahan Komposit Isotropik Al-SiC”. Laporan Penelitian DUE-Like Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya.
- Zainuri, M., Siradj, E.S., Priadi, D., Zulfia, A. dan Darminto, D. 2008. “Pengaruh Pelapisan Permukaan Partikel SiC dengan Oksida Metal terhadap Modulus Elastisitas Komposit Al/SiC”. Jurnal MAKARA, SAINS, Volume 12, No. 2:126-133.

- Zamheri, A. 2011. "Pengaruh Waktu Stirring, Fraksi Volume dan Ukuran Besar Butir Partikel SiC terhadap Kekerasan MMC Al 6061-SiC dengan Sistem Stirrcasting". Jurnal Austenit, Volume 3, Nomor 2.
- Zulfia, A. dan Ariati, M. 2006. "Pengaruh Suhu Pemanasan dan Waktu Tahan terhadap Karakterisasi Material Komposit Logam Al/SiC Hasil Infiltrasi Tanpa Tekanan". Jurnal MAKARA, Teknologi, Vol. 10, No. 1:18-23.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN I

Data Pengukuran Densitas

Tabel I.1. Data Perhitungan Densitas

Temperatur Al (°C)	Temperatur Sinter (°C)	Massa (gr)	Volume (cm ³)	Densitas (gr/ cm ³)
40	400	3,0268	1,4130	2,14
	500	3,1714	1,4130	2,25
	600	3,4738	1,5013	2,31
60	400	2,6281	1,2364	2,12
	500	2,9241	1,2364	2,36
	600	2,9932	1,3247	2,26
80	400	3,0984	1,4130	2,19
	500	3,0201	1,3247	2,28
	600	2,9560	1,3247	2,23

Contoh perhitungan untuk menentukan densitas sampel pada temperatur Al 40°C dan temperatur sinter 400°C sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dimana: m = massa sampel (gr)

V = volume sampel (cm³)

$$\rho = \frac{3,0268 \text{ gr}}{1,413 \text{ cm}^3}$$

$$\rho = 2,14 \text{ gr/cm}^3$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN II

Data Pengukuran Porositas

Tabel II.1 Data Perhitungan Porositas

Temperatur Al (°C)	Temperatur Sinter (°C)	m _b (gr)	m _k (gr)	Porositas (%)
40	400	3,5821	3,0268	18,35
	500	3,7267	3,1714	17,51
	600	3,9859	3,4738	14,74
60	400	3,1593	2,6281	20,21
	500	3,4711	2,9241	18,71
	600	3,4972	2,9932	16,84
80	400	3,6417	3,0984	17,84
	500	3,5734	3,0201	18,32
	600	3,4604	2,9560	17,06

Contoh perhitungan untuk menentukan porositas sampel pada temperatur Al 40°C dan temperatur sinter 400°C sebagai berikut:

$$\phi = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\%$$

Dimana: ϕ : porositas (%)

m_k : massa sampel kering (gr)

m_b : massa sampel setelah direndam didalam air (gr)

$$\phi = \frac{3,5821 \text{ gr} - 3,0268 \text{ gr}}{3,0268 \text{ gr}} \times 100\%$$

$$\phi = \frac{0,5553}{3,0268} \times 100\% = 18,35 \%$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN III

Data Pengukuran Kuat Tekan

Tabel III.1 Data Perhitungan Kuat Tekan

Temperature (°C)	A (cm ²)	F (kg f)	P (kg f/ cm ²)
400	1,766	3975	2250,85
500	1,766	4220	2389,58
600	1,766	4290	2429,22

Contoh perhitungan untuk menentukan nilai kuat tekan sampel pada temperatur Al 40°C dan temperatur sinter 400 °C sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A}$$

Dimana P : kuat tekan (kg f/cm²)

F : beban maksimum (kg f)

A : luas penampang sampel uji = $\pi d^2/4$ (cm²)

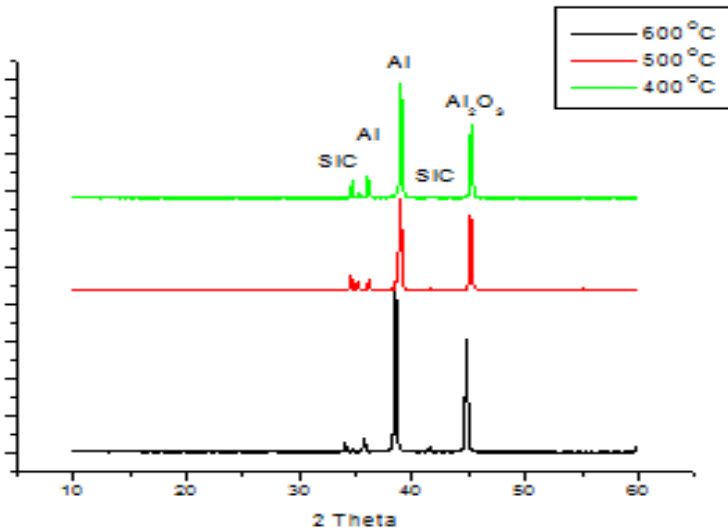
$$P = \frac{3975 \text{ kg f}}{1,766 \text{ cm}^2}$$

$$P = 2250,85 \text{ kg f/cm}^2$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN IV

Hasil XRD Komposit Al/SiC



Gambar IV.1 Hasil XRD Komposit Al/SiC pada Temperatur Al 40°C

Tabel IV.1. Nilai d dan Senyawa yang Terbentuk dari Hasil XRD pada Komposit Al/SiC

No.	2θ (°)	d (Å)	Senyawa
1	34,04	2,6317	SiC
2	35,97	2,4950	Al
3	38,59	2,3313	Al
4	41,61	2,1689	SiC
5	45,78	1,9803	Al ₂ O ₃

Contoh perhitungan nilai panjang kisi (d) dari hasil XRD pada temperatur pemanasan matrik prakompaksi 40°C dan temperatur sinteri 400 °C sebagai berikut:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Dimana: $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$

$$2\theta = 34,04$$

$$\theta = 17,02$$

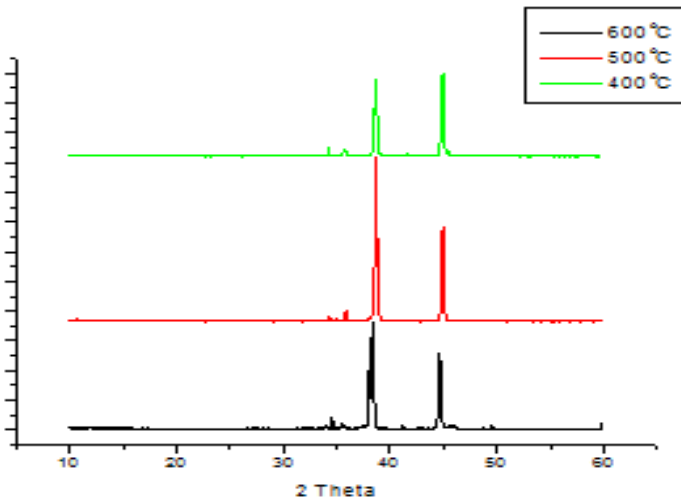
$$n = 1$$

$$2d = \frac{n\lambda}{\sin \theta}$$

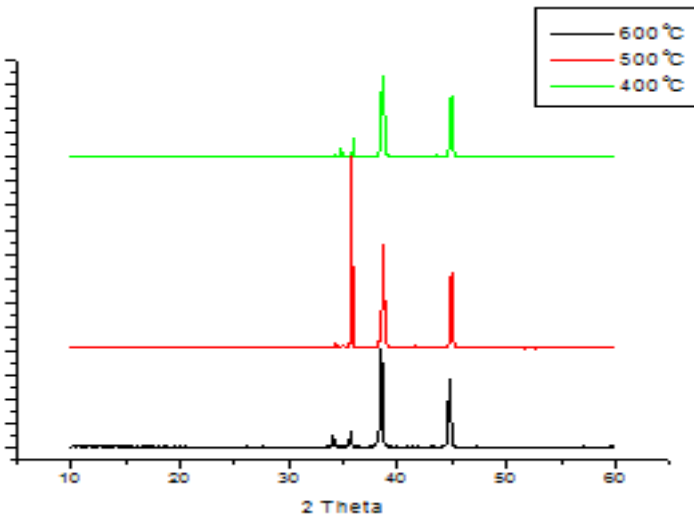
$$2d = \frac{1(1,54)}{\sin 17,02}$$

$$2d = 5,2634$$

$$d = 2,6317$$



Gambar IV.2 Hasil XRD Komposit Al/SiC pada Temperatur Al 60°C



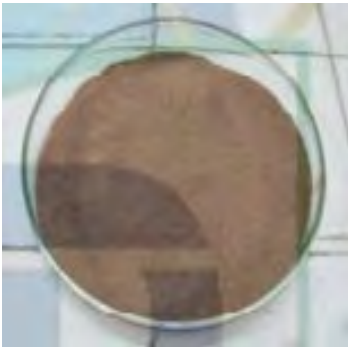
Gambar IV.3 Hasil XRD Komposit Al/SiC pada Temperatur Al 80°C

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN V
Bahan dan Peralatan Penelitian



Gambar V.1 Serbuk Aluminium



Gambar V.2 Serbuk SiC



Gambar V.3 Serbuk Zinc Stearat

Tabel V.1 Spesifikasi Bahan

Nama Bahan	Spesifikasi
Serbuk Aluminium	Al (Aluminium fine powder) $M = 26,98 \text{ gr/mol}$ $Al > 90 \%$ $Pb < 0,03 \%$ Arsenic (As) $< 0,0005 \%$ Iron (Fe) $< 1 \%$ Fett : passes test
Serbuk Silicon Carbida	$SiC : 98,7 \%$ $SiO_2 : 0,6 \%$ $Al_2O_3 : 0,5 \%$ $Fe_2O_3 : 0,2 \%$

Gambar V.4 Cetakan Sampel (*Diece*)



Gambar V.5 Oven Untuk Proses Pemanasan



Gambar V.6 Pompa Hidrolik Untuk Proses Kompaksi



Gambar V.7 *Torsee Universal Testing Machine* Untuk Alat Uji Kuat Tekan



Gambar V.8 XRD Philips X'Pert MPD (*Multi Purpose Diffractometer*) Sistem di Laboratorium XRD



Gambar V.9 Alat Uji SEM



Gambar V.10 Sampel Komposit Pascasintering



Gambar V.11 Sampel Komposit Setelah Proses Uji Kuat Tekan

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak ke 2 dari 3 bersaudara yang lahir di Kota Blitar pada 26 September 1991. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Al-Hidayah Udanawu, MI Wahid Hasyim Udanawu, MTs. Ma'arif, dan MA Ma'arif Udanawu Blitar. Setelah lulus dari MA tahun 2010, Penulis mengikuti tes seleksi Program Beasiswa Santri Berprestasi (PBSB) yang diselenggarakan oleh Kementerian Agama dan diterima

di Jurusan Fisika FMIPA ITS pada tahun 2010 dan terdaftar dengan NRP. 1110100703.

Di Jurusan Fisika ini Penulis mengambil bidang studi Material. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan seminar yang di adakan oleh jurusan, Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA) maupun Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) ITS dan aktif di organisasi CSS MoRA ITS. Informasi yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini dapat ditujukan ke alamat email: mufieda26@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”